



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Malte Kumkar et al.
Serial No. : 10/765,051
Filed : January 28, 2004

Art Unit : 2828
Examiner : Tod Thomas Van Roy
Conf. No. : 9616

Title : APPARATUS FOR OPTICAL PUMPING A LASER-ACTIVE SOLID BODY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT UNDER 35 USC §119

Applicants hereby confirm their claim of priority under 35 USC §119 from the following application:

German Application No. DE 101 37 069.6 filed July 28, 2001

A certified copy from which priority is claimed is submitted herewith.

Please apply any charges or credits to Deposit Account No. 06-1050.

Respectfully submitted,

Date: August 14, 2006



J. Peter Fasse
Reg. No. 32,983

Fish & Richardson P.C.
225 Franklin Street
Boston, MA 02110
Telephone: (617) 542-5070
Facsimile: (617) 542-8906

21400306.doc

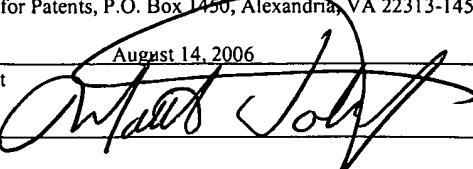
CERTIFICATE OF MAILING BY FIRST CLASS MAIL

I hereby certify under 37 CFR §1.8(a) that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail with sufficient postage on the date indicated below and is addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Date of Deposit

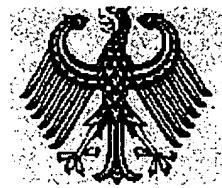
August 14, 2006

Signature



Matthew G. Doherty
Typed or Printed Name of Person Signing Certificate

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

101 37 069.5

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Anmeldetag:

28. Juli 2001

Anmelder/Inhaber:

HANS-LASER GmbH + Co. KG,
78713 Schramberg/DE; TRUMPF Laser Marking
Systems AG, Grüschen/CH.

Bezeichnung:

Vorrichtung zum optischen Pumpen eines laser-
aktiven Festkörpers

IPC:

H 01 S 3/093

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 9. Februar 2006
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hintermeier

TELEFON: 0711/7834731 TELEFAX: 0711/7800995/96
KOHLER SCHMID + P. RÜPPMANNSTR. 27 D-70565 STUTTGART

KOHLER SCHMID + PARTNER
PATENTANWÄLTE

24 615 RK/nu

27.07.2001

HAAS-LASER GmbH + Co. KG
Aichhalder Straße 39
D-78713 Schramberg

TRUMPF Laser Marking Systems AG
Ausserfeld
CH-7214 Grüschen

Vorrichtung zum optischen Pumpen eines
laseraktiven Festkörpers

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum optischen Pumpen eines stab- oder slabförmigen, laseraktiven Festkörpers mittels Pumplichts, das stirnseitig in den Festkörper eingekoppelt und durch Reflexion verteilt wird.

Eine derartige optische Pumpvorrichtung ist bereits bekannt und in Fig. 5 schematisch dargestellt.

Bei dieser bekannten, in Fig. 5 schematisch gezeigten optischen Pumpvorrichtung 50 wird fokussiertes Pumplicht 51 stirnseitig in einen stabförmigen Nd:YAG-Laserkristall 52 eingekoppelt. An der polierten Mantelfläche 53 des Laserkristalls 52 wird das eingekoppelte Pumplicht 54 innenseitig totalreflektiert und dadurch innerhalb des Laserkristalls 52 geführt, bis es weitgehend absorbiert ist, so dass der Kristall zwar über seine gesamte Länge optisch gepumpt wird, das Kristallvolumen aber nicht vollständig ausgenutzt wird.

Allerdings entstehen im Laserkristall durch die mehrfache Totalreflektion lokale Stellen mit erhöhter Pumpleistungsdichte, die zu einer starken thermischen Störung in diesen Bereichen des Laserkristalls führen, welche wiederum eine starke Verstimmung des optischen Resonators zur Folge haben. Dies bedeutet, dass die thermische Störung die nutzbare Pumpleistung stark beschränkt. Außerdem können sich durch die polierte Mantelfläche sogenannte ASE (amplified stimulated emission) und parasitäre Moden ausbilden, welche die Effizienz sowie die Strahlqualität des Lasers stark negativ beeinflussen.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, bei einer optischen Pumpanordnung der eingangs genannten Art das eingekoppelte Pumplicht möglichst homogen im Festkörper zu verteilen.

Diese Aufgabe wird in einem ersten Aspekt der Erfindung dadurch gelöst, dass der Festkörper von einem Reflektor umgeben ist und dass durch die Mantelfläche des Festkörpers austretendes Pumplicht diffus verteilt zurück in den Festkörper eintritt.

Durch die diffuse Verteilung des Pumplichts und die daraus resultierende homogene Ausleuchtung des Festkörpers entstehen keine lokalen Überhöhungen der Leistungsdichte des Pumplichts, wodurch sich im Festkörper eine geringere thermische Störung ausbildet. Dies führt dazu, dass der optische Resonator in geringerem Maße verstimmt wird und somit erst bei höherer Pumpleistung instabil wird. Verglichen mit der bekannten Pumpanordnung ermöglicht die Erfindung dadurch eine höhere Pumpleistung, was zu einer größeren möglichen Leistungsextraktion führt. Weiterhin sind bei gleicher Laserleistung eine geringere Länge des Festkörpers, eine höhere Dotierung im Festkörper und eine bessere Laserstrahlqualität möglich.

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung weist die Mantelfläche eine hindurchtretendes Pumplicht diffus verteilende Oberflächenbeschaffenheit auf, die die Totalreflexion des eingekoppelten Pumplichts verhindert und das Pumplicht räumlich homogenisiert. Aufgrund dieser Oberflächenbeschaffenheit der Mantelfläche wird auch die Ausbildung von ASE und parasitären Moden wirksam unterdrückt. Beispielsweise ist die Mantelfläche teilweise oder vollständig derart aufgeraut (z.B. mattiert) oder strukturiert,

dass mindestens 3%, bevorzugt mindestens 20%, besonders bevorzugt mindestens 40% des stirnseitig eingekoppelten Pumplichts durch die Mantelfläche nach außen austreten.

Insbesondere bei Ausführungsformen, bei denen das Pumplicht an der Mantelfläche nicht ausreichend diffus verteilt wird, ist der Reflektor diffus reflektierend ausgebildet.

Bei Ausführungsformen, bei denen das Pumplicht durch die Mantelfläche bereits ausreichend diffus verteilt wird, reicht ein Reflektor, der das ausgetretene Pumplicht spiegelnd reflektiert, d.h. nicht diffus verteilt.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist an der Mantelfläche außen ein Medium mit einem höheren Brechungsindex als der Festkörper vorgesehen, wodurch die innenseitige Totalreflexion des eingekoppelten Pumplichts an der Mantelfläche verhindert wird. Beispielsweise ist das Medium an der Mantelfläche als Schicht vorgesehen oder der Ringspalt zwischen Mantelfläche und Reflektor mit dem Medium ausgefüllt.

Vorzugsweise ist zwischen Festkörper und Reflektor ein Ringspalt vorgesehen, der vorteilhaft zur Kühlung des Festkörpers von Kühlmedium durchströmt werden kann.

Die oben genannte Aufgabe wird in einem zweiten Aspekt der Erfindung auch dadurch gelöst, dass die Mantelfläche eine auftreffenden Pumplicht diffus verteilende Oberflächenbeschaffenheit aufweist und mit einer Reflexionsschicht versehen ist.

Auf die Mantelfläche auftreffende Lichtstrahlen des eingekoppelten Pumplichts werden aufgrund dieser Oberflächenbeschaffenheit der Mantelfläche diffus verteilt und als diffuses Licht von der Reflexionsschicht zurück in den Festkörper reflektiert. Durch die Homogenisierung des Pumplichts und die daraus resultierende homogene Ausleuchtung des Festkörpers entstehen keine lokalen Überhöhungungen der Leistungsdichte des Pumplichts, wodurch sich im Laserkristall eine geringere thermische Störung ausbildet. Dies führt dazu, dass der optische Resonator in geringerem Maße verstimmt wird und somit erst bei höherer Pumpleistung instabil wird. Durch sind höhere Pumpleistungen möglich, was zu einer größeren möglichen Leistungsextraktion führt. Außerdem wird durch die Oberflächenbeschaffenheit der Mantelfläche die Ausbildung von ASE und parasitären Moden wirksam unterdrückt.

Vorzugsweise wird bei der erfindungsgemäßen optischen Pumpanordnung mindestens 3%, bevorzugt mindestens 20%, besonders bevorzugt mindestens 40% des stirnseitig eingekoppelten Pumplichts im Festkörper diffus verteilt.

Die erfindungsgemäße optische Pumpenanordnung kann sowohl für den Betrieb eines Laseroszillators als auch als Nachverstärkeranordnung genutzt werden.

Als laserfähige Festkörper können z.B. Laserkristalle aus quasi-homogen dotiertem Volumenmaterial, Composite-Kristalle mit Segmenten unterschiedlicher Dotierung, gradiendotierte Kristalle sowie gradientendotiert-gesinterte, polykristalline Laserkeramiken verwendet werden.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigt:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Pumpvorrichtung mit mattierter Mantelfläche des laseraktiven Festkörpers und mit diffus reflektierendem Reflektor;

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Pumpvorrichtung mit mattierter Mantelfläche des laseraktiven Festkörpers und mit spiegelnd reflektierendem, d.h. nicht diffus verteilendem Reflektor;

Fig. 3 eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Pumpvorrichtung mit einer auf der polierten Mantelfläche des laseraktiven Festkörpers vorgesehenen Schicht mit höherem Brechungsindex als der Festkörper und mit diffus reflektierendem Reflektor;

Fig. 4 eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Pumpvorrichtung mit einer Reflexionsschicht auf der mattierten Mantelfläche des laseraktiven Festkörpers; und

Fig. 5 eine bekannte optische Pumpvorrichtung, bei der das in den Festkörper eingekoppelte Pumplicht an der polierten Mantelfläche des Festkörpers innenseitig totalreflektiert wird (ohne explizit diffuse Streuung).

Die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung 1 dient zum optischen Pumpen eines stabförmigen, laseraktiven Festkörpers 2, z.B. eines Nd:YAG-Kristalls. Dazu wird fokussiertes Pumplicht 3 einer oder mehrerer Laserdioden in den Festkörper 2 über eine oder beide Stirnflächen 4 eingekoppelt. Vorzugsweise wird das Pumplicht 3

dabei durch die Stirnfläche(n) 4 in einen undotierten Endbereich des Festkörpers 2 fokussiert. Der Festkörper 2 ist von einem diffus reflektierenden Reflektor 5 unter Ausbildung eines Ringraums oder Ringspalts 6 umgeben. Die Mantelfläche 7 des Festkörpers 2 ist mattiert bzw. aufgeraut, so dass an der Mantelfläche 7 keine Totalreflexion des eingekoppelten Pumplichts stattfindet und auf die Mantelfläche 7 auftreffende Lichtstrahlen 8 des eingekoppelten Pumplichts jeweils als diffuses Licht 9 in den Ringspalt 6 austreten. Die Lichtstrahlen 10 des diffusen Lichts 9 werden am Reflektor 5 jeweils als diffuses Licht 11 auf die Mantelfläche 7 zurückgeworfen. Die Lichtstrahlen 12 des diffusen Lichts 11 treten durch die mattierte Mantelfläche 7 jeweils als diffuses Licht 13 wieder in den Festkörper 2 ein. Die beschriebene Strahlführung wiederholt sich für die Lichtstrahlen 14 des eingekoppelten diffusen Lichts 13, bis sie im Festkörper 2 weitgehend absorbiert sind. Durch die diffuse Verteilung des Pumplichts im Festkörper 2 ist das Pumplicht im Festkörper homogen verteilt, und es entstehen keine lokalen Überhöhungen der Leistungsdichte des Pumplichts, wodurch sich im Festkörper 2 eine geringere thermische Störung ausbildet.

Der Ringspalt 6 ist endseitig über Ringdichtungen 15 nach außen abgedichtet und wird zur Kühlung des Festkörpers 2 von Kühlflüssigkeit durchströmt. An den mit den Ringdichtungen 15 zusammenwirkenden Enden ist die Mantelfläche 7 für eine bessere Dichtwirkung poliert.

Von der optischen Pumpvorrichtung 1 unterscheidet sich die in Fig. 2 gezeigte optische Pumpvorrichtung 20 durch einen auftreffenden Licht spiegelnd reflektieren Reflektor 21. Die Lichtstrahlen 10 des aus der mattierten Mantelfläche 7 austretenden diffusen Lichts 9 werden am Reflektor 21 jeweils als Lichtstrahlen 22 spiegelnd reflektiert und durch die mattierte Mantelfläche 7 jeweils als diffuses Licht 23 in den Festkörper 2 eingekoppelt. Die beschriebene Strahlführung wiederholt sich für die Lichtstrahlen 24 des eingekoppelten diffusen Lichts 23, bis sie im Festkörper 2 weitgehend absorbiert sind.

Von der optischen Pumpvorrichtung 1 unterscheidet sich die in Fig. 3 gezeigte optische Pumpvorrichtung 30 dadurch, dass außen auf der zwar totalreflektierend ausgebildeten, polierten Mantelfläche 7 des Festkörpers 2 eine die Totalreflexion verhindernde Schicht 31 mit höherem Brechungsindex als der Festkörper 2 angebracht ist. Daher treten auf die Mantelfläche 7 innenseitig auftreffende Lichtstrahlen 8 des eingekoppelten Pumplichts durch die polierte Mantelfläche 7 und die Schicht 31 in den Ringspalt 6 jeweils als Lichtstrahlen 32 aus, die dann am diffus reflektierenden Reflektor 5 jeweils als diffuses Licht 33 auf die Mantelfläche 7 zurückgeworfen werden. Die Lichtstrahlen 34 des diffusen Lichts 33 treten durch die Schicht 31 und die Mantelfläche 7 jeweils als Lichtstrahlen 35 wieder in den Festkörper 2 ein. Die beschriebene Strahlführung wiederholt sich für die Lichtstrahlen 35, bis sie im Festkörper 2 weitgehend absorbiert sind.

Bei der in **Fig. 4** gezeigten optischen Pumpvorrichtung **40** ist die mattierte bzw. aufgerautete Mantelfläche **7** des Festkörpers **2** mit einer Reflexionsschicht **41** versehen. Auf die Mantelfläche **7** auftreffende Lichtstrahlen **8** des eingekoppelten Pumplichts werden an der mattierten Mantelfläche **7** diffus verteilt und als diffuses Licht **42** von der Reflexionsschicht **41** zurück in den Festkörper **2** reflektiert. Die beschriebene Strahlführung wiederholt sich für die Lichtstrahlen **43** des diffusen Lichts **42**, bis sie im Festkörper **2** weitgehend absorbiert sind.

Stuttgart, 27.07.2001

24615 Rk/nu

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1; 20; 30) zum optischen Pumpen eines stab- oder slabförmigen, laseraktiven Festkörpers (2) mittels Pumplichts (3), das stirnseitig in den Festkörper (2) eingekoppelt und durch Reflexion verteilt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörper (2) von einem Reflektor (5; 21) umgeben ist und dass durch die Mantelfläche (7) des Festkörpers (2) austretendes Pumplicht (10; 32) diffus verteilt zurück in den Festkörper (2) eintritt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelfläche (7) eine hindurchtretendes Pumplicht (8) diffus verteilende Oberflächenbeschaffenheit aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Reflektor (5) das ausgetretene Pumplicht (10) diffus reflektiert.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Reflektor (21) das ausgetretene Pumplicht (10) spiegelnd reflektiert.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an der Mantelfläche (7) außen ein Medium mit einem höheren Brechungsindex als der Festkörper (2) vorgesehen ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Medium außen an der Mantelfläche (7) als Schicht (31) vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Reflektor (5) ausgetretenes Pumplicht (10) diffus reflektiert.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Festkörper (2) und Reflektor (5; 21) ein Ringspalt (6) vorgesehen ist.
9. Vorrichtung (40) gemäß Oberbegriff von Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelfläche (7) eine auftreffendes Pumplicht (8) diffus verteilende Oberflächenbeschaffenheit aufweist und mit einer Reflexionsschicht (41) versehen ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 3%, bevorzugt mindestens 20%, besonders bevorzugt mindestens 40% des stirnseitig eingekoppelten Pumplichts (8) im Festkörper (2) diffus verteilt wird.

Fig. 1

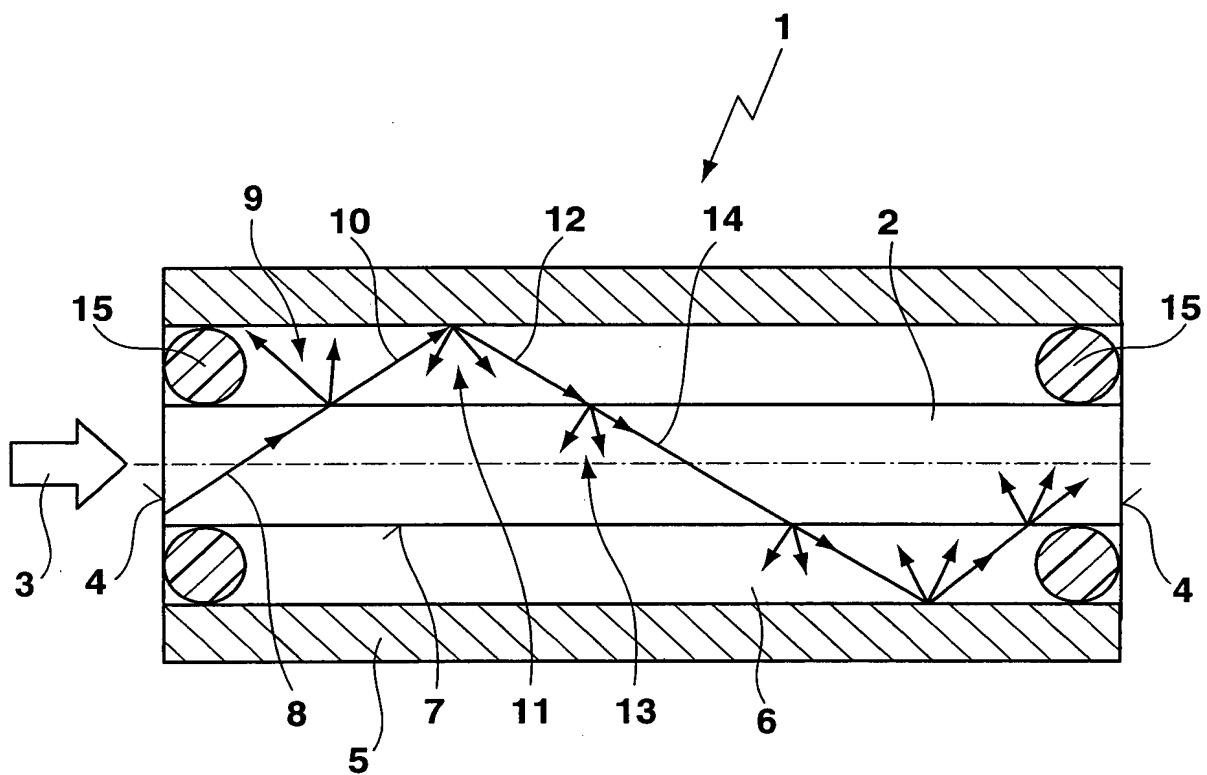


Fig. 2

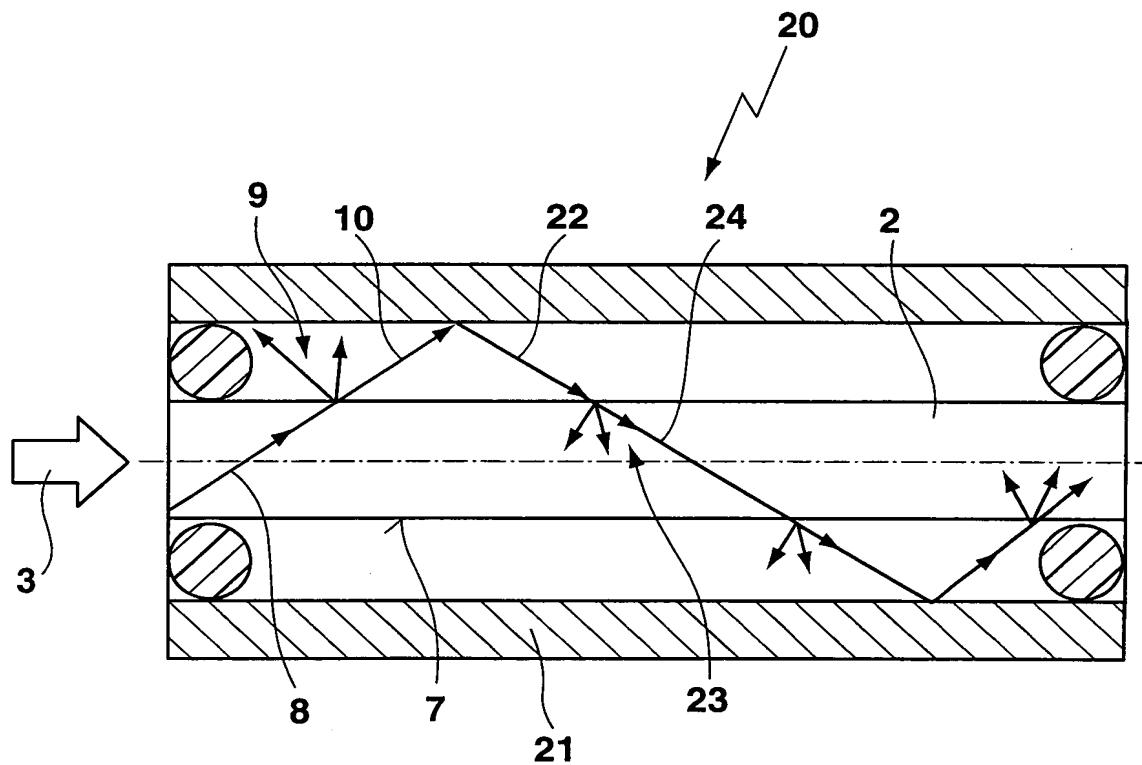


Fig. 3

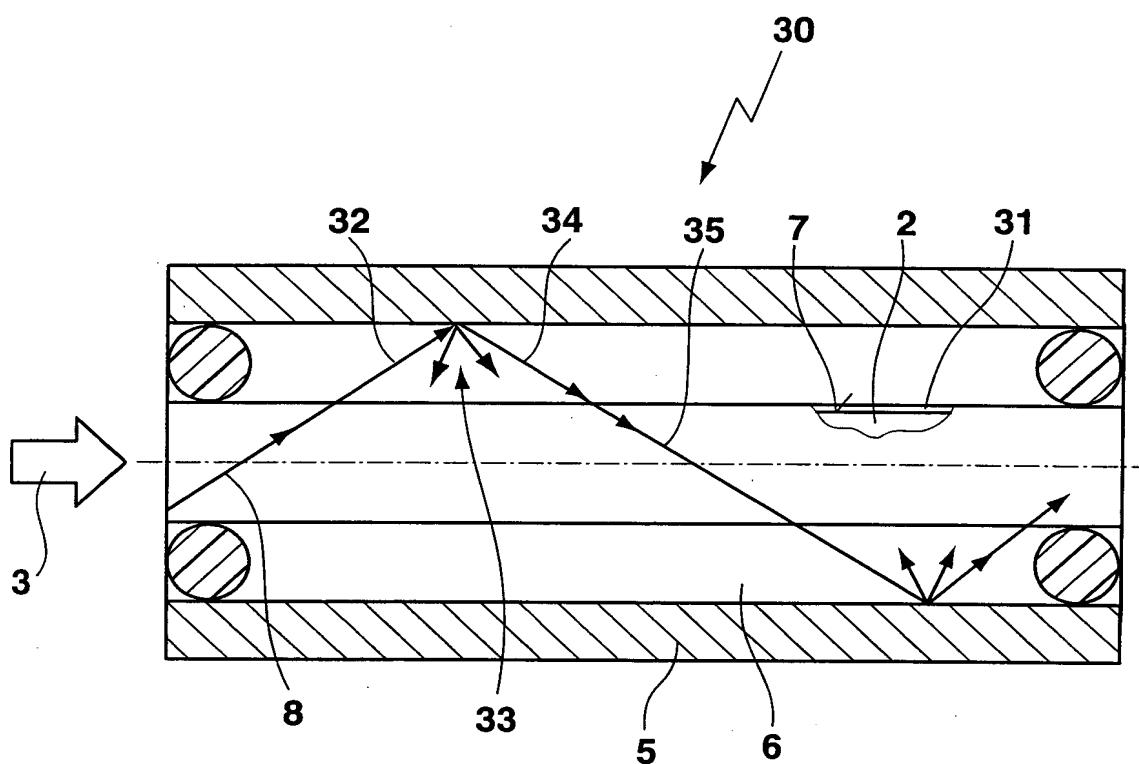


Fig. 4

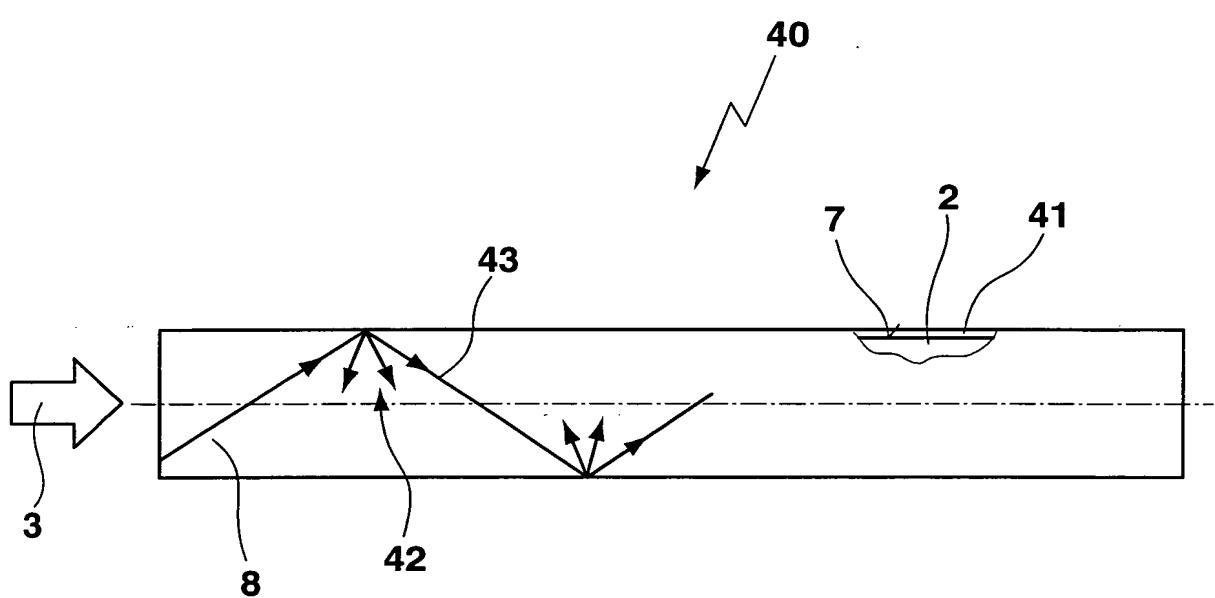
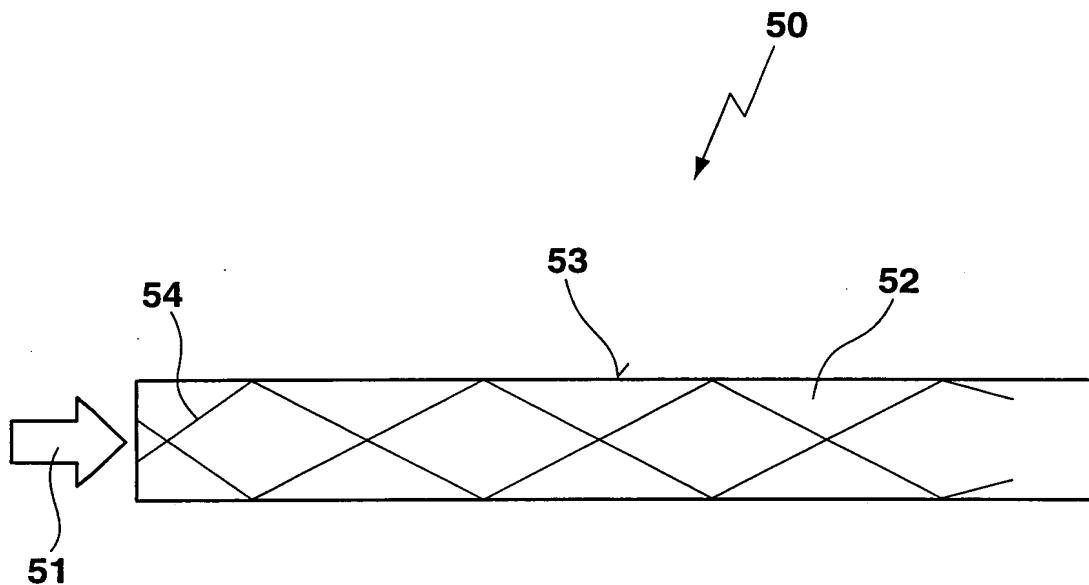


Fig. 5



Zusammenfassung

Um bei einer Vorrichtung (1) zum optischen Pumpen eines stab- oder slabförmigen, laseraktiven Festkörpers (2) mittels Pumplichts (3), das stirnseitig in den Festkörper (2) eingekoppelt und durch Reflexion verteilt wird, das eingekoppelte Pumplicht (8) möglichst homogen im Festkörper (2) zu verteilen, ist der Festkörper (2) von einem Reflektor (5) umgeben und tritt durch die Mantelfläche (7) des Festkörpers (2) austretendes Pumplicht (10) diffus verteilt zurück in den Festkörper (2) ein.

(Fig. 1)

